干旱区地理
ARID LAND GEOGRAPHY

天山北坡中部一次短时暴雨的卫星反演云参数特征及成因分析

王清平[1]， 秦 贺[2]， 程海艳[1]， 张天成[1]， 陈春艳[2]

（1. 民航新疆空中交通管理局气象中心，新疆 乌鲁木齐 830016；
2. 新疆维吾尔自治区气象台，新疆 乌鲁木齐 830002）

摘 要：利用常规高空、地面观测、自动气象站、NCAR/NCEP FNL 0.5°×0.5°再分析资料和FY-4A卫星多通道扫描成像辐射计（AGRI）载荷L2级定量产品资料对2019年6月16日发生于天山北坡的石河子垦区短时暴雨天气过程的云参数特征及成因进行分析。结果表明：（1）此次短时暴雨过程发生在巴尔喀什湖附近的高空槽分裂的短波槽配合中低层700 hPa切变线和850 hPa辐合线共同影响的环流背景下。（2）黑体亮度温度（Temperature black body，TBB）的发展、合并与暴雨云团的快速发展、合并、加强有较好的对应关系，暴雨云团在暴雨区快速发展，成熟后稳定少动并与上游的云团不断合并加强。当暴雨云团TBB快速下降至-52 ℃以后开始出现降水，暴雨区主要发生在暴雨云团TBB等值线密集区，暴雨云团的云顶高度可发展至12 km，在云团发展过程中云顶相态由含有水云、冰云的混合云组成，但主要以过冷水云为主。（3）700 hPa切变线和850 hPa及地面辐合线的存在为暴雨提供了有利的动力条件，且地面辐合线稳定少动，有利于强有力的垂直上升运动携带充沛的水汽在暴雨区聚集致使暴雨发生，此次暴雨的水汽路径主要有偏西和偏南两条路径。

关 键 词：云结构；黑体亮度温度（TBB）；β中尺度；短时暴雨，FY-4A
文章编号：

石河子垦区处于新疆天山山脉北坡中部的迎风坡，属于干旱和半干旱地区，主要农作物为棉花，是我国主要的棉花产区，也是新疆生产建设兵团的重要经济支柱之一。由于其紧靠天山山脉，夏季经常受到由天山山区移出的强对流云团影响，造成大风、冰雹、短时强降水等强对流灾害性天气，对农作物、经济作物造成较大的影响[1]。国内学者对冰雹、短时强降水的研究有不少[2-6]，王啸华等[7]研究南京地区一次短时暴雨过程中尺度特征发现，多个中尺度对流系统合并加强致使黑体亮度温度（Temperature black body，TBB）梯度大值区在南京地区停留，造成短时暴雨。崔春光等[8]利用多源探测资料综合分析湖北咸宁地区一次中尺度对流系统（Mesoscale convective system，MCS）造成的短时暴雨，发现地面气流辐合和边界层风切变有利于MCS发展并维持，造成强降水。闵锦忠等[9]利用多普勒雷达资料分析苏北地区一次强降水超级单体风暴过程，发现较低的抬升凝结高度、强对流不稳定和中到强的垂直风切变环境有利于超级单体的发展。新疆学者对本地短时暴雨天气也有一定研究，杨霞等[10]研究深秋季节新疆短时暴雨发现中尺度气旋的位置与TBB分布有较好的对应关系，其中心与TBB低值中心的移动方向一致。李建刚等[11]研究中亚低涡背景下一次短时强降水MCS成因，发现强降水时段雨强的空间分布与TBB梯度大小成正比，时间分布与回波顶高和垂直液态水含量成正比。魏勇等[12]从环流形势、水汽通道、雷达回波特征等方面对天山北坡中部的冰雹、暴雨天气成因分析。李建刚等[13]研究天山山区夏季MCS时空分布特征，发现6月为α-中尺度对流系统（Alpha mesoscale convective system，

收稿日期：2021-01-01； **修订日期**：2021-05-14
基金项目：新疆维吾尔自治区自然科学基金2021D01A152资助
作者简介：王清平（1985-），男，汉族，本科，高工，主要从事航空气象预报研究. E-mail: wqp1001@163.com
通讯作者：秦贺（1983-），女，汉族，硕士，高工，主要从事灾害性天气预报研究. E-mail: qinhemail@126.com

$M_\alpha CS$)出现的高发期且椭圆形$M_\alpha CS$占多数。$M_\alpha CS$发展期主要集中在午后和后半夜，消亡于前半夜。其生命史主要为3~6 h。王清平等[14]对新疆巴音郭楞州一次罕见的短时暴雨MCS特征进行研究，发现暴雨主要发生在TBB等值线密集区，TBB≤-52 ℃区域的形成、发展、消失与暴雨的发生、发展、结束时段对应较好。刘晶等[15]研究乌鲁木齐短时强降水和冰雹的中小尺度特征，指出短时强降水和冰雹均发生在中尺度对流云团TBB梯度最大处。

新疆区域面积大、天山山脉高度较高，受山脉阻挡，多普勒雷达监测山区对流初生能力有限，高时空分辨率的气象卫星对中尺度对流系统的初生、发展有较好的监测效果。周毓荃等[16-17]利用FY-2C/D卫星资料反演云微物理特性产品并与两次强降水天气过程进行对比研究，发现卫星反演的云液态水路径的大值区与强降水中心的方向位置基本一致，云液态路径的大小与地面雨量的大小呈现正相关关系。徐小红等[18]利用FY-2G卫星研究“2016·06·23”江苏盐城特大龙卷强对流天气的云微物理结构特征，得出卫星RGB通道合成图能够可视化、便捷显示云微物理特征与发展趋势，龙卷云顶温度达-80 ℃，云顶粒子有效半径小、以冰粒子为主，云砧结构明显。FY-2G卫星资料提前6 h探测到龙卷初始发展的对流云团发展潜势头，体现出静止卫星在强对流天气监测预警中的优势。新一代静止气象卫星FY-4A已于2016年12月发射升空，并作为业务运行卫星，该卫星作为FY-2系列卫星的继任者，其时间分辨率、空间分辨率均有较大提高，其对夏季对流云团的发生、发展具有更好的监测作用。

目前国内对于FY-4A卫星在强对流天气监测中的应用还较少，本文试图应用FY-4A卫星AGRI载荷L1探测资料和L2级产品对发生于2019年6月16日新疆生产建设兵团农八师石河子垦区境内的局地短时强降水进行对流云团发展、演变及云参数结构进行研究，以期提高FY-4A卫星资料在强对流天气预报业务中的应用。

1 资料与方法

本文用到的资料主要有常规高空、地面观测资料、NCAR/NCEP FNL 0.5°×0.5°再分析资料、新疆区域逐小时地面加密自动气象站数据和FY-4A新一代静止气象卫星资料。

FNL资料共有26层，逐6 h间隔，主要包括高度、温度、相对湿度、风、气压、垂直速度等多个变量。本文通过计算得到水汽通量和水汽通量散度，用于研究此次对流天气的水汽来源及分布。

FY-4A静止气象卫星上的AGRI载荷的L2级黑体亮度温度(TBB)、云类型(CLT)、云相态(CLP)和云顶高度(CTH)等定量产品为.NC格式，星下点空间分辨率为4000 m，时间分辨率最大为4 min。数据可从国家卫星气象中心网站(http://satellite.nsmc.org.cn/PortalSite/Default.aspx)获取。该网站对外开放，只需进行注册即可下载。使用目前较为流行的Python语言进行数据可视化绘图。

2 天气概述及环流形势

2.1 天气概述

2019年6月16日午后至夜间，受强对流天气影响，北疆沿天山一带的石河子、乌鲁木齐、天池、木垒等地出现雷暴、强对流天气。位于天山山区北坡的石河子南部垦区、天山深处的天池及天山山区东段的木垒等地局地出现短时暴雨天气，多个站点1 h降水量>20 mm，达到中国气象局短历时强降水级别。其中4个站点过程降水量>48 mm，达到新疆大暴雨标准(24 h降水量≥48.1 mm，新疆大暴雨标准[19])，36站降水量≥24 mm，达到暴雨标准(24 h降水量≥24.1 mm)。本次强对流天气造成的短时暴雨最强区域位于石河子南部垦区。垦区附近的沙湾县四道班站降水量达到64.8 mm，牛圈子站达到60 mm，均达到中国气象局暴雨标准，这在当地历史罕见，因此本文选定该区域对暴雨期间的云微物理结构特征及成因进行研究。

从降水逐小时分布来看(图1c)，石河子南部垦区的沙湾县四道班站、宽沟站、牛圈子站、家什窑站降水主要集中在16日夜间22:00—24:00时(北京时间，以下同)，降水持续时间短，小时雨强较强。21:00—22:00沙湾县四道班站降水量达到39.2 mm，牛圈子站达到28.6 mm，非常罕见。

2.2 环流形势

500 hPa形势场在暴雨发生前，新疆区域受较为平直的偏西气流控制，多短波活动，乌拉尔山东侧

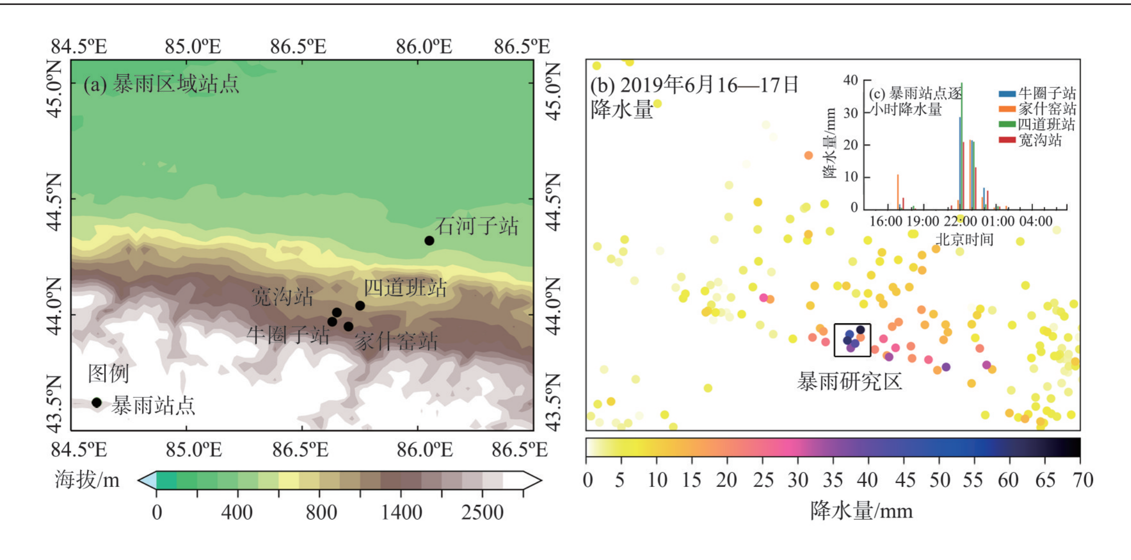


图1　暴雨区域站点及降水量分布图

Fig. 1　Distributions of total rainfall and torrential rain area station

的西伯利亚地区受低涡控制，欧洲平原为高压脊区控制，脊前西北气流较强盛，有最大风速达到24 m·s⁻¹的急流带维持。14—15日，欧洲脊加强，脊前西北气流引导冷空气南下，使得乌拉尔山南部地区分裂出高空槽并南下东移。16日08:00高空槽主力系统进入巴尔喀什湖附近，北疆区域转为槽前西南及偏西气流控制。20:00（图2a），巴尔喀什湖附近的主槽前部分裂的短波槽进入暴雨区，槽前后有明显的风速辐合，造成石河子南部垦区局地短时暴雨天气。

700 hPa（图略），14—15日乌拉尔山东侧的低涡槽在高空气流的引导下，南部伸至45°N的里海—咸海附近并快速东移。16日08:00（图2b）北疆西部转为槽前偏西南气流，在南疆西部分裂出"西北—东南"向短波槽，槽后风速达到18 m·s⁻¹，槽前部为8 m·s⁻¹东南风。中亚塔什干—伊犁河谷—克拉玛依一线上空存在露点温度差（$T-T_d$）≤1 ℃的饱和湿区。20:00（图2c）北疆西部、天山山区为一致的西南风，风速8~18 m·s⁻¹，天山北坡暴雨区附近有8 m·s⁻¹的偏北风，与天山山区上的8~10 m·s⁻¹的西南风在天山北坡暴雨区附近形成切变线。

850 hPa（图略），16日08:00北疆上空为一致的西北风，乌鲁木齐上空风速达8 m·s⁻¹，与克拉玛依上空12 m·s⁻¹存在风速辐合。20:00（图2d），伊宁站上空出现14 m·s⁻¹西南风，与克拉玛依站上空14 m·s⁻¹的西北风呈现风向辐合，石河子—乌鲁木齐一带为一致的西北风，风速达8 m·s⁻¹以上，与天山地形形成近90°夹角，在天山地形的抬升作用下，有利于暴雨的形成。综上所述，500 hPa高空短波槽、700 hPa切变线和850 hPa的风向风速辐合线是此次暴雨的主要影响系统。

3　卫星反演云参数特征演变

FY-4A新一代静止气象卫星提供了较多的L2级云定量产品，本文使用黑体亮度温度（TBB）、云相态（CLP）、云顶高度（CTH）等产品来研究暴雨区云微物理结构特征及其演变。

3.1　暴雨中尺度对流系统演变

20:30，在暴雨区西南侧有弱对流云团A，TBB≤−22 ℃，奎屯附近有"东北—西南"的"葫芦"状对流云团B，中心TBB值＜−42 ℃（图略）。20:45，暴雨区西南侧的弱对流云团范围开始增大，中心强度加强，TBB≤−32 ℃，对流云团B中的西南侧头部的对流云团快速发展，生成近乎圆形的对流云团C（图3a）。21:15，对流云团A东北移动至暴雨区附近，在暴雨区东侧新生成对流云团D、E，且对流云团C迅速加强，TBB≤−42 ℃区域范围明显加大（图3b）。21:30，对流云团A、D、E合并成为对流云团F，F呈"东北—西南"狭长状，且出现南北2个中心，2个中心TBB值均小于−52 ℃以下，北部−52 ℃中心范围加大，南部中心较小。暴雨区上游的对流云团C也进一步加强，中心TBB＜−52 ℃以下，暴雨区处于F和C之间的TBB梯度密集区，此时暴雨区已出现降水（图3c）。21:45，对流云团F进一步快速发展，其南

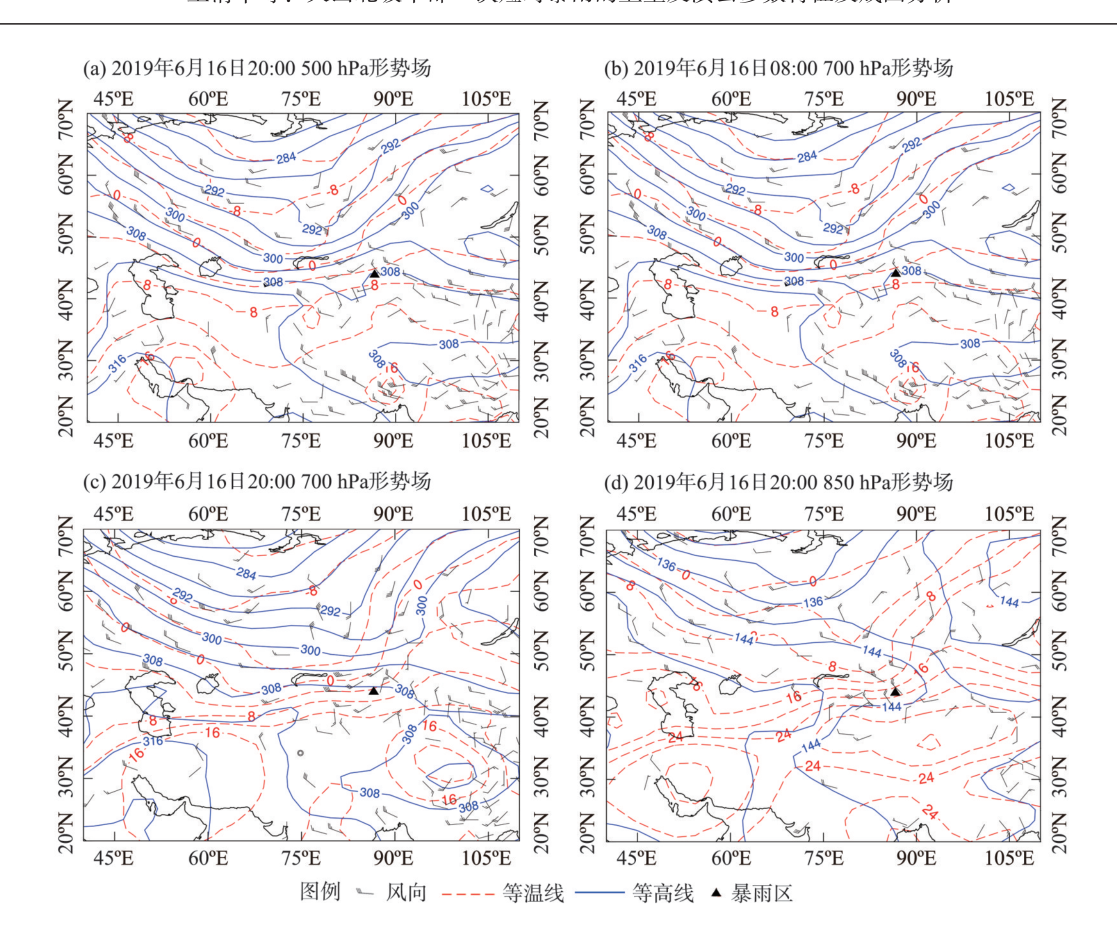


图2　2019年6月16日500 hPa、700 hPa、850 hPa环流形势图

Fig. 2　Circulation fields from 500 hPa to 850 hPa on June 16, 2019

部中心快速加强发展为1个强中心，F最强中心位于暴雨区附近，且TBB中心值加强至−57 ℃以下，暴雨区正处于加强的TBB等值线密集区中，且F和C已经连为一体，奎屯至石河子及暴雨区TBB＜−42 ℃区域形成“山”字形状(图3d)。22:15 F和C完全合并为G，G尺度已经达到MCS标准[20]，G的长短轴分别达到170 km和150 km(图3e)。22:30，对流云团G进一步发展至最强，TBB≤−52 ℃区域达到最大，暴雨区处于TBB≤−52 ℃区域边缘的梯度密集区，此后对流云团G东移减弱(图3f)。23:30，对流云团G移出暴雨区，降水明显减弱，此次强对流天气趋于结束。

进一步分析暴雨站点TBB演变发现，暴雨区牛圈子站、家什窑站、四道班站TBB在20:30—21:00快速发展，由−10 ℃快速下降至−32 ℃，宽沟站下降的幅度相对较小，且4个站点TBB在快速下降发展之前均有略微上升，这与暴雨发生前不稳定能量的聚集相关联，21:40—22:30，4站的TBB下降至最低达到−58 ℃，此时地面降水强度达到最强。22:30以后对流云团逐渐开始减弱东移，各站TBB也对应开始上升(图4)。

3.2　暴雨区云顶高度及云相态演变特征

20:45(图5a)暴雨区西部有云顶高度为8000 m对流云团，暴雨区上空云顶高度为6000 m，21:15(图5b)石河子南部暴雨区新生对流单体，云顶高度迅速上升达到10000 m，21:45继续上升至12000 m。22:00—23:00，云顶发展最旺盛，云顶高度12000 m的范围不断扩大，22:15(图5c)云顶高度发展最强盛，12000 m高度云顶呈长轴为“东北—西南”椭圆，面积达最大，此后维持，23:30(图略)，随着系统的东移，降水趋于结束，暴雨区云顶高度也逐渐下降至10000 m以下。

20:45(图5d)，暴雨区附近新生的对流单体云顶相态和云分类产品均检测为过冷水云。且奎屯—石河子一带有大范围过冷水云。21:15(图5e)，石河子暴雨区云顶由于进一步发展，云顶相态由含有水云、冰云的混合云组成，但主要以过冷水云为主。21:30(图略)，云相态和云分类产品均显示为混合

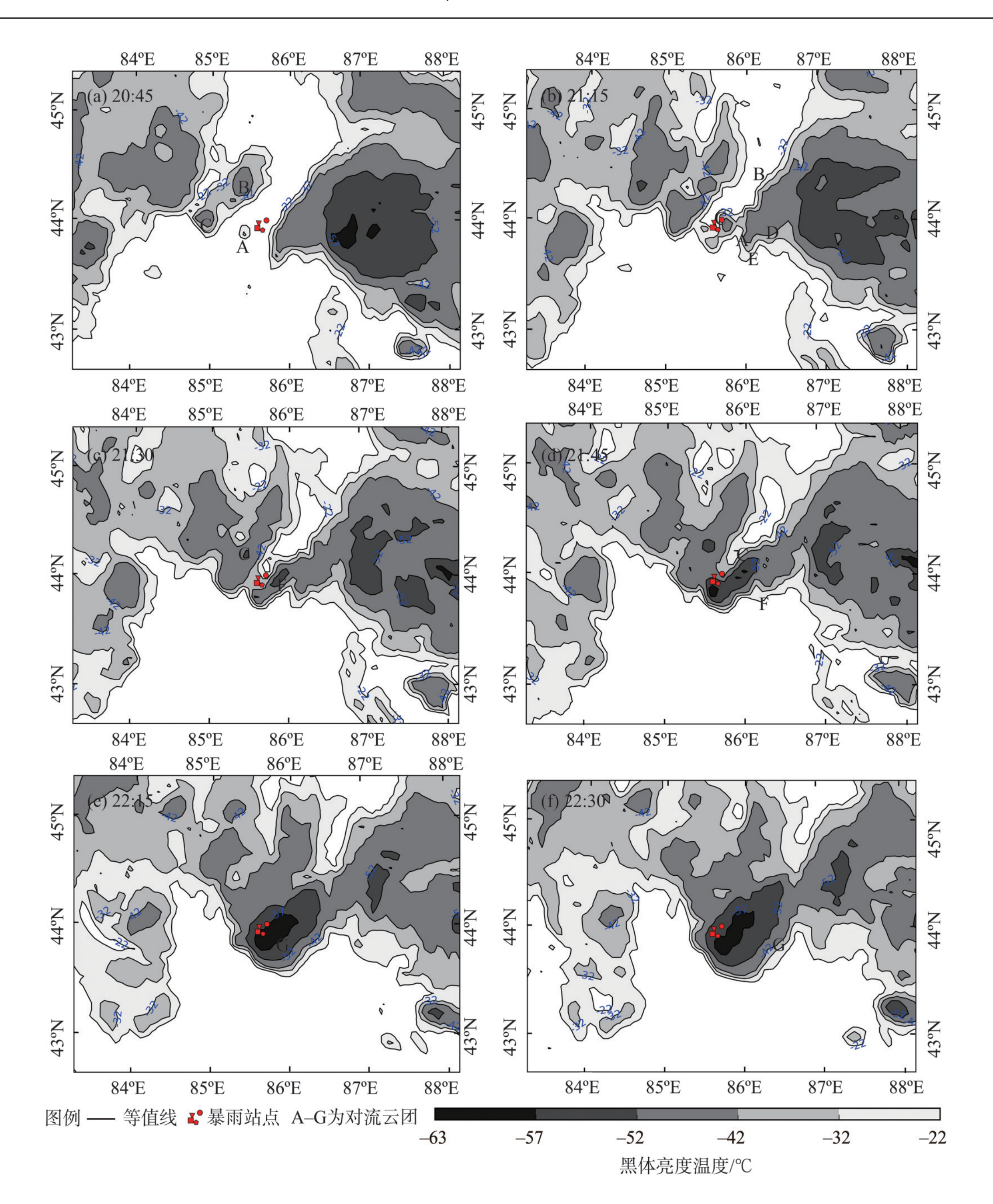


图3 FY-4A卫星黑体亮度温度(TBB)时间演变图

Fig. 3 Evolution of FY-4A satellite TBB

云。22:15(图5f)云分类产品中暴雨区附近出现了卷云,这与2.2节中云顶高度发展到最强较为一致。

可见,FY-4A卫星的TBB、CLP和CTH等云产品可以较早的监视对流云团的初生,TBB低值区的范围和强度及TBB的梯度变化,云顶高度、云相态和云分类产品能够进一步的辅助对流发展强盛的判识。卫星资料的应用能够很好的监测对流的初生、发展、消散,在预报业务中不可或缺,随着FY-4A卫星时间分辨率的大大增加,对于生命史较短的中小尺度监测有较好的帮助。

4 成因分析

4.1 水汽条件

分析此次暴雨的水汽通道发现:暴雨期间500~850 hPa有较好的水汽输送,其中600~850 hPa水汽输送占水汽输送总量的较大部分。分析700 hPa(图6a)水汽通道发现有两条水汽通道,一条来自里海—

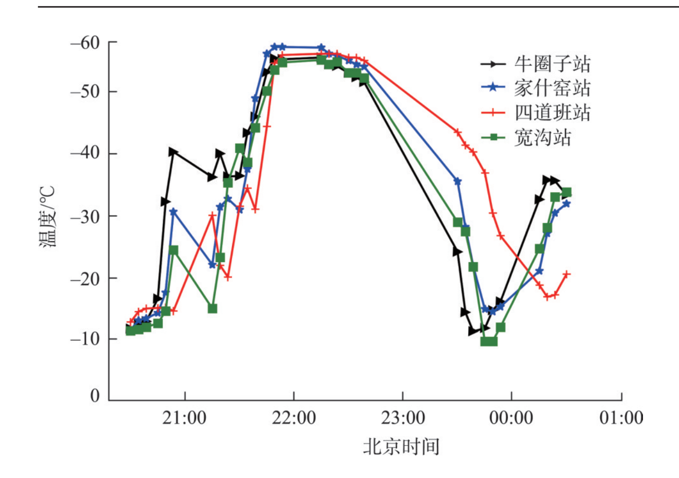


图4　暴雨区各站TBB时间序列演变

Fig. 4　TBB time series evolution of all stations in terrain area

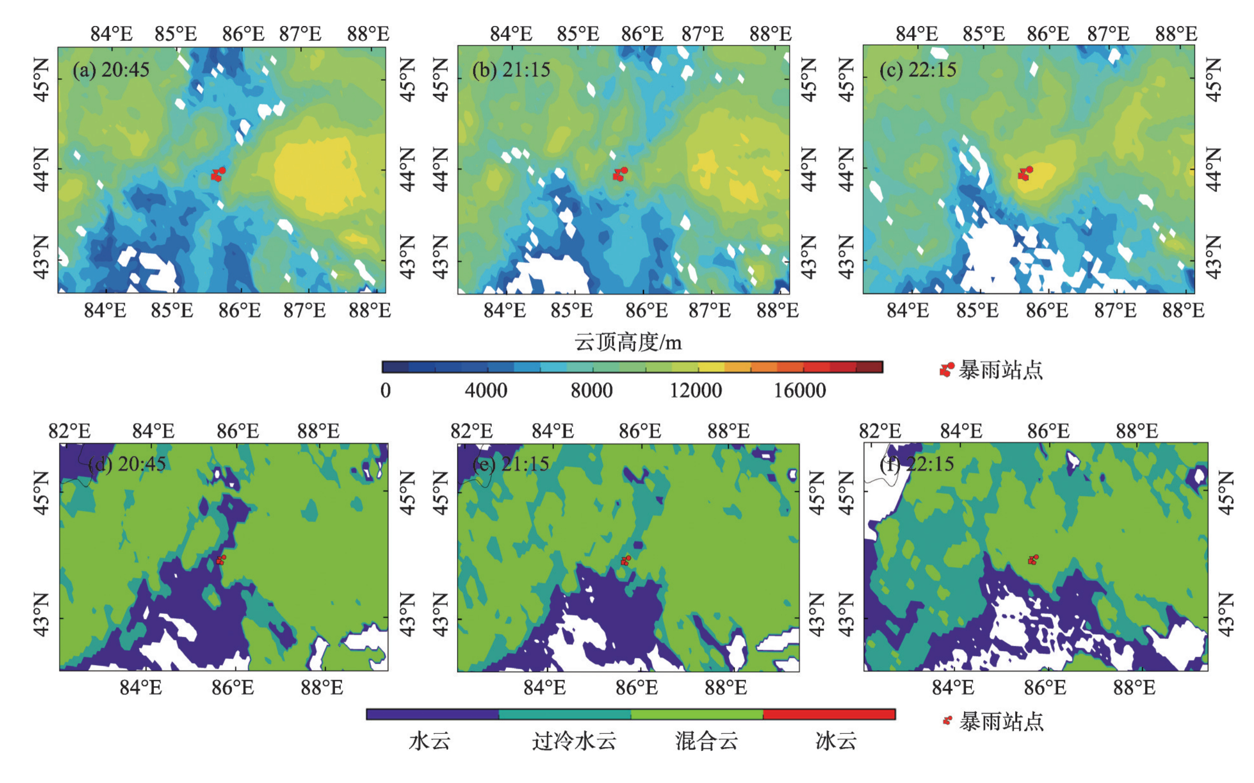
咸海—巴尔喀什湖的偏西路径，且该通道在850 hPa（图6b）中表现非常明显，另一条是来自孟加拉湾并翻越青藏高原的偏南路径，两条路径的水汽在暴雨区附近进行汇合。水汽通量散度图中16日08:00（图略），暴雨区上空水汽聚集不明显，14:00（图6c）开始500~700 hPa有明显的水汽辐合聚集，20:00（图6d）水汽聚集达到最大，在动力作用下，水汽得到凝结释放，产生暴雨。

4.2　动力条件

暴雨离不开强烈的垂直运动，沿暴雨区（44°N，86°E）做垂直速度的时间序列演变图（图7）可以看出，暴雨来临前，暴雨区上空主要为弱的下沉运动。16日14:00开始，暴雨区上空500~650 hPa和750~1000 hPa开始出现上升运动，强度分别为-0.3×10^{-3} Pa·s^{-1}和-0.6×10^{-3} Pa·s^{-1}。随着地面偏北风的加大，配合地形阻挡的影响，上升运动进一步加强。20:00，上升运动达到最大，暴雨区上空200 hPa以下整层为上升气流，且出现2个上升运动大值区，分别为450 hPa和800 hPa，相应强度为-3.0×10^{-3} Pa·s^{-1}和-1.2×10^{-3} Pa·s^{-1}。如此强的上升运动有利于水汽的抽吸，对暴雨生成极为有利。17日02:00随着槽后形势的建立，暴雨区上空整层为下沉气流，暴雨过程结束。

4.3　地面辐合线

19:00（图8a），石河子—独山子—克拉玛依一带为一致的2~8 m·s^{-1}的西北风，石河子南部暴雨区风场主要为2~4 m·s^{-1}的东南风和偏南风，在暴雨区西侧已有辐合线生成。20:00（图8b）暴雨区西侧—北侧有西北风和东北风，而暴雨区东侧为偏南气



注：a~c为云顶高度；d~f为云相态。

图5　FY-4A卫星云顶高度和云相态产品时间演变图

Fig. 5　Evolution of FY-4A satellite cloud top height (CTH) and cloud phase (CLP) product

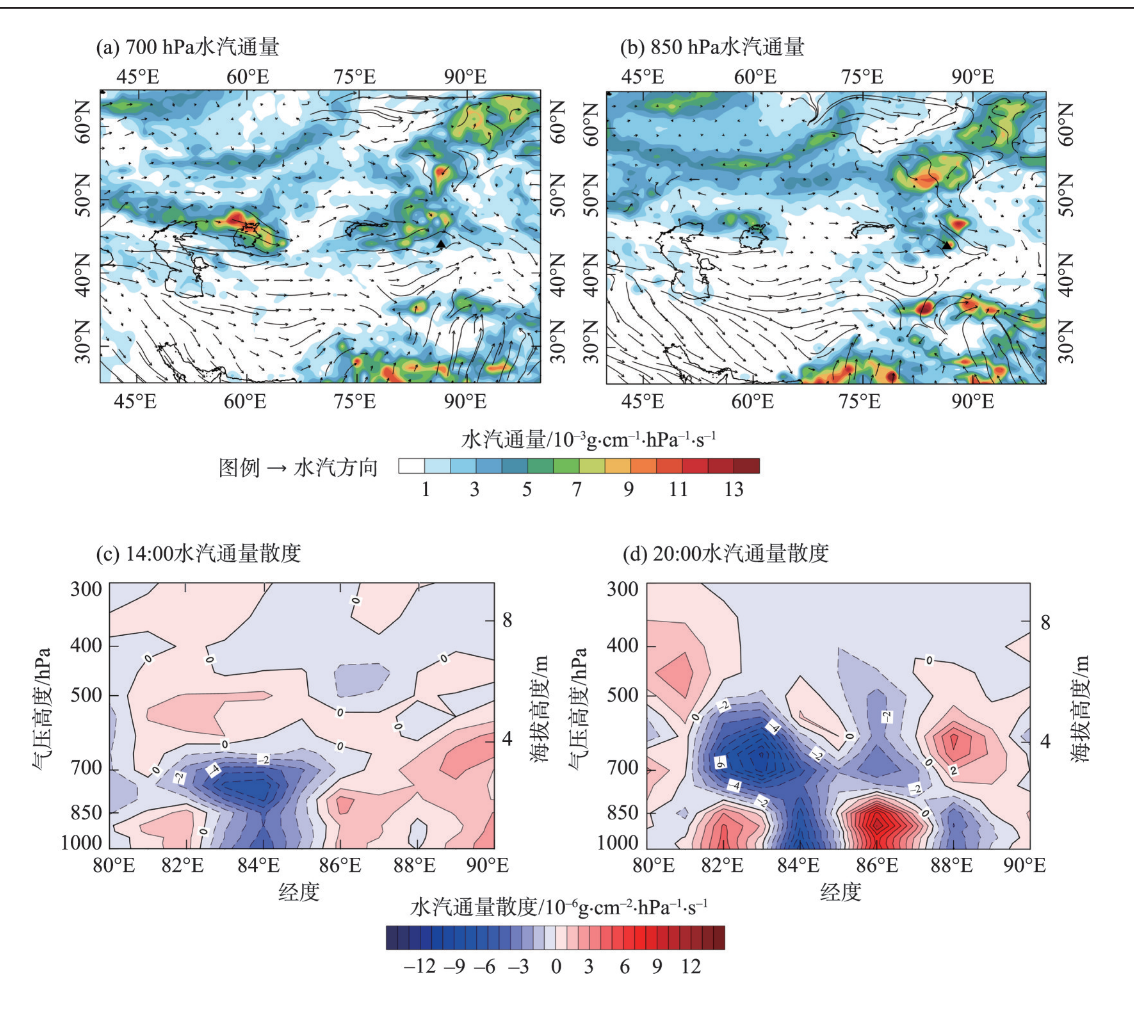


图6 2019年6月16日水汽通量及沿44°N水汽通量散度剖面图

Fig. 6 Water vapor flux and moist convergence section graph

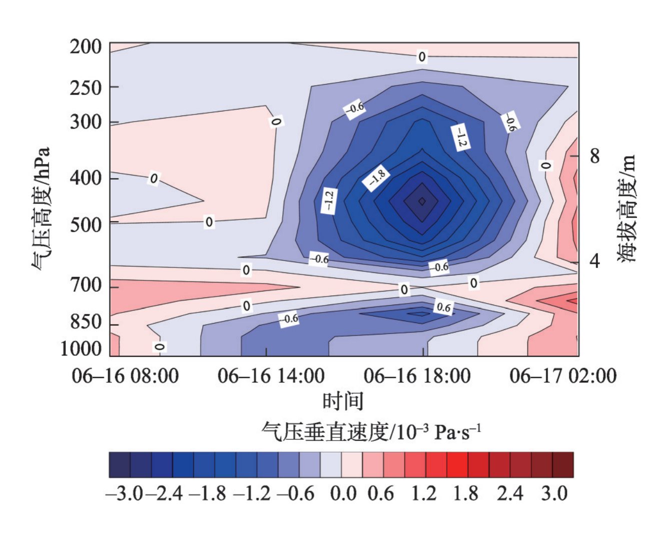


图7 沿着暴雨区垂直速度变化

Fig. 7 Evolution of vertical velocity at terrain area

流，形成闭合环流。21:00（图8c），暴雨区西侧和北侧为西北和东北风辐合，且风速加至4~6 $m\cdot s^{-1}$，在南部山区地形抬升作用的影响下，更有利于对流云团的发展。22:00（图8d）暴雨区处于偏西北风和西南风的交汇处，但风速较21:00明显减小，21:00—22:00对流发展最为旺盛，与2.1节中TBB发展较为对应。

综上，此次短时暴雨的水汽来源有两条，分别是里海—咸海—巴尔喀什湖的偏西路径和来自孟加拉湾并翻越青藏高原的偏南路径，两条路径的水汽在暴雨区附近进行汇合。空中较强的上升运动配合地面风场辐合并结合有利的地形条件为短时暴雨提供非常好的动力条件。

5 结 论

（1）此次短时暴雨过程主要是由巴尔喀什湖附近的高空槽分裂的短波配合700 hPa切变线和850 hPa辐合线造成的。

（2）TBB的发展、合并与暴雨云团的快速发展合并加强有较好的对应关系，TBB快速下降至−52 ℃以后暴雨云团开始出现降水，且暴雨区主要

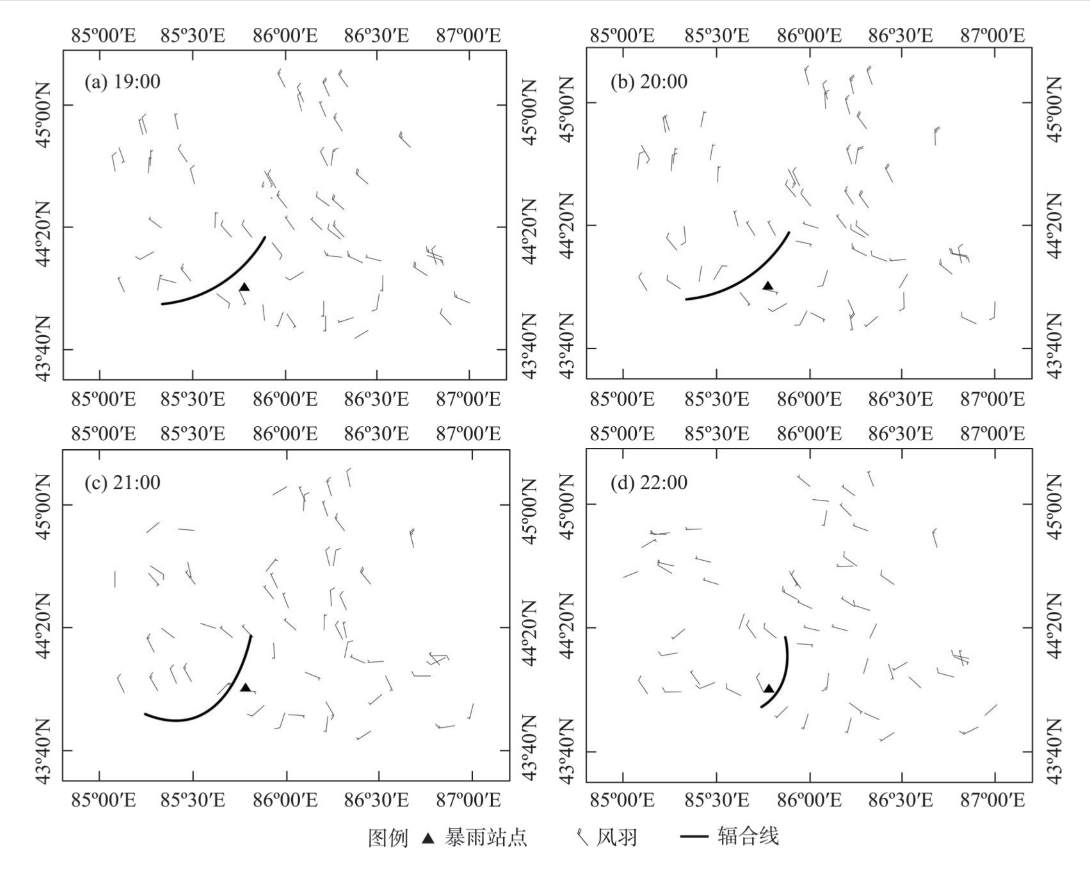


图8　暴雨区地面加密自动站风场演变图

Fig. 8　Evolution of wind field at terrain area

发生在TBB等值线密集区,暴雨云团的云顶高度可发展至12 km,在云团发展过程中云顶相态由含有水云、冰云的混合云组成,但主要以过冷水云为主。

（3）700 hPa切变线和850 hPa及地面辐合线的存在为暴雨提供了有利的动力条件,强有力的垂直上升运动携带充沛的水汽致使暴雨的发生,此次暴雨的水汽路径主要有偏西和偏南两条路径。地面风场西北风、东北风的辐合加上南部山区的地形抬升作用,有利于中尺度对流系统的发展和维持。

参考文献(References)

[1] 赵俊荣. 天山北坡中部一次罕见局地强降水中小尺度系统分析[J]. 气象与环境学报, 2012, 28(6): 19−24. [Zhao Junrong. Analysis of meso-micro scale system characteristics in a rare heavy rain on the northern slope of Tianshan Mountain[J]. Journal Meteorology and Environment, 2012, 28(6): 19−24.]

[2] 付双喜, 何金梅. 甘肃短时强降水天气若干环境参数特征分析[J]. 干旱区地理, 2015, 38(3): 469−477. [Fu Shuangxi, He Jingmei. Short-time heavy precipitation characteristics of several enviromental parameters of Gansu Province[J]. Arid Land Geography, 2015, 38(3): 469−477.]

[3] 姜玉印, 卢楚翰, 范元月, 等. 宜昌一次致灾极端短时强降水成因分析[J]. 气象科学, 2020, 40(2): 232−240. [Jiang Yuyin, Lu Chuhan, Fan Yuanyue, et al. Causal analysis of an extreme short-range heavy precipitation in Yichang[J]. Journal of the Meteorological Sciences, 2020, 40(2): 232−240.]

[4] 陈永仁, 李跃清. "12·7·22"四川暴雨的MCS特征及对短时强降雨的影响[J]. 气象, 2013, 39(7): 848−860. [Chen Yongren, Li Yueqing. Characteristics of mesoscale convective system and its effects on short-time severe rainfall in Sichuan Basin during 21 to 22 July 2012[J]. Meteorological Monthly, 2013, 39(7): 848−860.]

[5] 周娟, 高天赤, 杨军, 等. 浙江北部地区一次短时暴雨过程非常规资料特征分析[J]. 气象与环境学报, 2015, 31(4): 7−13. [Zhou Juan, Gao Tianchi, Yang Jun, et al. Analysis of non-conventional observational data for a short-time rain storm process in the north of Zhejiang Province[J]. Journal of Meteorology and Environment, 2015, 31(4): 7−13.]

[6] 慕建利, 李泽椿, 谌芸, 等. 一次陕西关中强暴雨中尺度系统特征分析[J]. 高原气象, 2014, 33(1): 148−161. [Mu Jianli, Li Zechun, Chen Yun, et al. Feature analysis of mesoscale convective system of a heavy rainfall in the central Shaanxi Plain[J]. Plateau Meteorology, 2014, 33(1): 148−161.]

[7] 王啸华, 吴海英, 唐红昇, 等. 2009年7月7日南京短时暴雨的中尺度特征分析[J]. 气象, 2012, 38(9): 1060−1069. [Wang Xiaohua, Wu Haiying, Tang Hongsheng, et al. Mesoscale characteristic

analysis on a short-time torrential rain in Nanjing on 7 July 2009 [J]. Meteorological Monthly, 2012, 38(9): 1060−1069.]

[8] 崔春光, 王晓芳, 付志康. 多源探测资料在一次非线状MCS分析中的综合应用[J]. 气象, 2013, 39(5): 556−566. [Cui Chunguang, Wang Xiaofang, Fu Zhikang. Synthetic application of multiple intensified observation data in the analysis of nonlinear mesoscale convection system[J]. Meteorological Monthly, 2013, 39(5): 556−566.]

[9] 闵锦忠, 贾瑞怡, 王晨钰. 苏北一次强降水超级单体风暴过程的诊断分析[J]. 大气科学学报, 2018, 41(4): 463−474. [Min Jingzhong, Jia Ruiyi, Wang Chenyu. Diagnostic analysis on a heavy precipitation supercell storm process in northern Jiangsu[J]. Transactions of Atmospheric Science, 2018, 41(4): 463−474.]

[10] 杨霞, 李云, 赵逸舟, 等. 新疆一次深秋局地短时大暴雨的成因分析[J]. 高原气象, 2014, 33(1): 162−170. [Yang Xia, Li Yun, Zhao Yizhou, et al. Analysis of a brief torrential rain event in autumn in Xinjiang[J]. Plateau Meteorology, 2014, 33(1): 162−170.]

[11] 李建刚, 姜彩莲, 张云惠, 等. 中亚低涡背景下一次短时强降水过程MCS成因分析[J]. 干旱区地理, 2019, 42(4): 724−734. [Li Jiangang, Jiang Cailian, Zhang Yunhui, et al. Causal analysis of MCS in a short-time severe precipitation process under the background of Central-Asia vortex[J]. Arid Land Geography, 2019, 42 (4): 724−734.]

[12] 魏勇, 彭军, 热苏力·阿不拉, 等. 新疆天山北坡中部一次冰雹天气成因分析[J]. 干旱气象, 2013, 31(4): 771−777. [Wei Yong, Peng Jun, Abula Resuli, et al. Comrehensive analysis of a severe hail in the middle section on northern slope of Tianshan Mountain in Xinjiang[J]. Journal of Arid Meteorology, 2013, 31(4): 771−777.]

[13] 李建刚, 姜彩莲, 张云惠, 等. 天山山区夏季M_αCS时空分布特征[J]. 高原气象, 2019, 38(3): 604−616. [Li Jiangang, Jiang Cailian, Zhang Yunhui, et al. Spatiotemporal distribution characteristics of M_αCS in summer of Tianshan Mountains[J]. Plateau Meteorology, 2019, 38(3): 604−616.]

[14] 王清平, 彭军, 茹仙古丽·克里木. 新疆"巴州"罕见短时暴雨的MCS特征分析[J]. 干旱气象, 2016, 34(4): 685−692. [Wang Qingping, Peng Jun, Ruxianguli. Characteristics of mesoscale convective system about a rare short-time rainstorm in Bayangol Mongol Autonomous Prefecture of Xinjiang on 4 June 2020[J]. Journal of Arid Meteorology, 2016, 34(4): 685−692.]

[15] 刘晶, 于碧馨, 赵克明, 等. 乌鲁木齐"4·24"短时降水和冰雹中小尺度特征对比分析[J]. 暴雨灾害, 2018, 37(4): 347−355. [Liu Jing, Yu Bixin, Zhao Keming, et al. Comparative analysis on the medium and small scale characteristics of the "4·24" short-term rain and hail storms in Urumqi[J]. Torrential Rain and Disasters, 2018, 37(4): 347−355.]

[16] 周毓荃, 陈英英, 李娟, 等. 用FY−2C/D卫星等综合观测资料反演云物理特性产品及检验[J]. 气象, 2008, 34(12): 27−35. [Zhou Yuquan, Chen Yingying, Li Juan, et al. Retrieval and preliminary test of cloud physical parameters from combination of FY−2C/D geostationary satellite data and other observation data[J]. Meteorological Monthly, 2008, 34(12): 27−35.]

[17] 陈英英, 唐仁茂, 周毓荃, 等. FY−2C/D卫星微物理特性参数产品在地面降水分析中的应用[J]. 气象, 2009, 35(2): 15−18. [Chen Yingying, Tang Renmao, Zhou Yuquan, et al. Microphysical characteristic parameters product retrieved by FY−2C/D satellite and its application in the precipitation analysis[J]. Meteorological Monthly, 2009, 35(2): 15−18.]

[18] 徐小红, 余兴, 朱延年, 等. 6·23龙卷FY−2G卫星云微物理特征分析[J]. 高原气象, 2018, 37(6): 1737−1748. [Xu Xiaohong, Yu Xing, ZhuYannian, et al. Cloud microphysical properties of a tornado revealed by FY−2G geostationary satellite[J]. Plateau Meteorology, 2018, 37(6): 1737−1748.]

[19] 肖开提·多莱特. 新疆降水量级标准的划分[J]. 新疆气象, 2005, 28(3): 7−8. [Duolaite Xiaokaiti. Formulation of precipitation intensity standard of Xinjiang[J]. Xinjiang Meteorology, 2005, 28(3): 7−8.]

[20] 王旭, 马禹. 新疆中尺度对流系统的地理分布和生命史[J]. 干旱区地理, 2012, 35(6): 857−864. [Wang Xu, Ma Yu. Geographic distribution and life cycle of mesoscale convective system in Xinjiang, China[J]. Arid Land Geography, 2012, 35(6): 857−864.]

Cloud parameter characteristics of a β-mesoscale short-term rainstorm in the central of the northern slope of Tianshan Mountains

WANG Qingping[1], QIN He[2], CHENG Haiyan[1], ZHANG Tiancheng[1], CHEN Chunyan[2]

(1. Urumqi Meteorological Center of CAAC, Urumqi 830016, Xinjiang, China;

2. Xinjiang Meteorological Observatory, Urumqi 830002, Xinjiang, China)

Abstract: The cloud microphysical structure characteristics and the causes of a rainstorm weather process occurring on June 16, 2019 in the Shihezi reclamation area, Xinjiang, China are analyzed using automatic weather station data, NCAR/NCEP FNL 0.5°×0.5° reanalysis data, and the L2 quantitative product data of FY-4A/AGRI. The results are as follows: (1) The rainstorm mainly occurred in the circulation background under the joint influence of shortwave trough at the bottom of Lake Balkhash trough and the 700- and 850-hPa shear and convergence lines, respectively. (2) Good correspondence was observed between the development and the consolidation of TBB and the rapid development and the consolidation of the rainstorm cloud cluster. After TBB dropped to −52 °C, it began to rain in the rainstorm cloud cluster, and the rainstorm area mainly occurred in the dense area of the TBB isoline. The cloud top height of the rainstorm cloud cluster could develop up to 12 km. In the process of cloud cluster development, the cloud top phase was composed of mixed clouds that contain water and ice clouds; however, supercooled water clouds were mainly occupied. (3) The 700- and 850-hPa shear and convergence lines, respectively, and the ground provided favorable dynamic conditions for the rainstorm, the strong vertical ascending motion carried abundant water vapor, which leads to the occurrence of rainstorm, and the water vapor path of the rainstorm mainly had two paths—westward and southward.

Key words: cloud microphysical structure; temperature black body(TBB); β mesoscale; short-term terrain; FY-4A